



Meta-Sezgisel Yöntemlerle Sabit Zamanlı Sinyalize Kavşaklar için Optimum Devre Süresi Modeli

Ali Payıdar AKGÜNGÖR, Özge YILMAZ, Ersin KORKMAZ*, Erdem DOĞAN

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale/Türkiye
ersinkorkmaz@kku.edu.tr

Received/Geliş: 13.12.2018

Accepted/Kabul: 19.02.2019

Öz: Son zamanlarda nüfus ve ekonomideki büyüme karayollarında araç kullanımını arttırmaktadır. Buna bağlı olarak kavşakların kapasitesi giderek yetersiz kalmaktadır. Kavşakların verimsiz çalışmasından dolayı gecikme, yakıt tüketimi, emisyon salınımı artarken sürücü davranışları da olumsuz etkilenmektedir. Optimum devre süresinin doğru tespiti ve sinyal sürelerinin düzenlenmesi ile bu sorunların minimuma indirilebilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAKA) kullanılarak optimum devre süresi modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca en düşük gecikmeye sahip olan devre sürelerinin belirlenmesinde Diferansiyel Gelişim Algoritmasından (DGA) yararlanılmıştır. Kalibre edilen Webster modeline ilave olarak üstel ve kuadratik formda modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bütün modeller Webster modelinden istatistiksel olarak daha iyi performansa sahip olurken, en iyi performansı da üstel model vermiştir. Bu modellerin özellikle yüksek trafik hacmine sahip trafik durumlarında yetersiz kalan Webster modelinin eksikliğini kapatarak alternatif bir devre süresi tahmin modeli olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Optimum devre süresi; Webster modeli; Yapay arı kolonisi algoritması

Optimum Cycle Length Model for Fixed-Time Signalized Intersections with Meta-Heuristic Methods

Abstract: Recently, growth in population and economy has increased the use of vehicles on highways. Depending on this, the capacity of intersections becomes increasingly insufficient. Due to inefficient operation of intersections, the delay, fuel consumption, and emission release increase, and also the driver behaviors are negatively affected. It is possible to minimize these problems by correctly determination of optimum cycle length and adjustment of signal times. In this study, optimum cycle length models have been developed using Artificial Bee Colony Algorithm (ABC). In addition, Differential Evolution Algorithm (DE) has been used to determine the cycle length which has the minimum delay. In addition to the Calibrated Webster model, exponential and quadratic forms have been developed. All developed models have statistically better performance than the Webster model and also exponential model has illustrated the best performance. It has been seen that these models can be used as an alternative estimating cycle length model by overcoming the deficiency of Webster model which is insufficient especially in high traffic volumes.

Keywords: Optimum cycle length; Webster model; Artificial bee colony algorithm

1. Giriş

Her geçen gün artan nüfus araç kullanımlarının ve yayaların sayısının artmasına neden olmakta, bu durum ise insanlara trafikte daha fazla zaman kaybettirmektedir. Zaman kaybındaki artış sürücülerin davranışlarını olumsuz etkilemekte ve kural ihlalleri yapmalarına yol açmaktadır. Bu ihlaller ise kazalar ile can ve mal kaybına sebebiyet verirken aynı zamanda da ülke ekonomisi açısından da olumsuzluklara neden olmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar göz önüne alındığında

Bu makaleye atıf yapmak için

Akgüngör, A.P., Yılmaz, Ö., Korkmaz, E., Doğan, E., "Meta-Sezgisel Yöntemlerle Sabit Zamanlı Sinyalize Kavşaklar için Optimum Devre Süresi Modeli" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(2); 259-269.

How to cite this article

Akgüngör, A.P., Yılmaz, Ö., Korkmaz, E., Doğan, E., "Optimum Cycle Length Model for Fixed-Time Signalized Intersections with Meta-Heuristic Methods" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019, 6(2); 259-269.

kavşaklarda optimum devre süresinin tayin edilmesi ile kavşaklardaki gecikme ile kayıp zamanın minimize edilmesine bağlı olarak da çevresel etkilerin azaltılması mümkün olacağından başta trafik mühendisleri olmak üzere bu konu birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir.

Webster [1] tarafından geliştirilen ve gecikmeyi minimum yapmayı amaçlayan optimum devre süresi modeli bu konudaki yapılan ilk çalışmalardan biridir. Webster geliştirdiği bu model ile kayıp zamanlara ve her bir fazdaki akımlar oranına bağlı olarak devre süresinin belirlenebileceğini ortaya koymuştur. Genelde düşük trafik akımlarında yüksek performans verebilen bu model yoğun trafik durumlarında etkinliğini kaybetmektedir. Chang ve Lin [2] doygun üstü kavşaklar için optimal devre süresinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Doygun üstü trafik akımlarının olduğu zamanları kapsayan karar metodolojisine göre ayrık dinamik optimizasyon modelleri geliştirmişlerdir. İki fazlı bir kavşak için optimum devre süresini belirleyen modeller yoğun trafik durumlarında daha başarılı olmuşlardır. Trafik hacminin yüksek olduğu dört fazlı izole kavşaklarda çalışmalar yapan Cheng ve diğerleri [3] minimum gecikmeyi ve optimum devre süresini veren bir bağıntıyı ortaya koymayı amaçlamışlardır. Lan [4] Webster'in doygun akım durumlarındaki eksikliğinden yola çıkarak doğrusal olmayan regresyon analiziyle kritik akım oranı, toplam kayıp zaman, devre uzunluğu gibi parametreler arasındaki ilişkiyi saptamaya çalışmış ve yeni bir model geliştirmiştir. Cheng ve diğerleri [5] Webster formülü dikkate alarak yeni bir devre süresi modeli geliştirmişlerdir. Minimum gecikmeyle beraber optimum devre süresinin belirlenmesi için Sychro5 programını ve CORSIM trafik simülasyonunu da kullanarak çalışmalarını yürütmüşlerdir.

Han ve Li [6] ise devre süresinin optimizasyonunda matematiksel bağıntılar ve Monte Carlo simülasyonu kullanarak olasılık yaklaşımını uygulamışlardır. Day ve diğerleri [7] devre süresinin farklı zaman dilimlerinde trafikteki değişimine bağlı olarak etkilerini ortaya koymuş ve devre süresinin farklı zaman dilimlerine göre ayarlanmasının önemli olduğunu vurgulamışlardır. Singh ve diğerleri [8] ise genetik algoritma kullanarak gerçek zamanlı trafik sinyali kontrolü stratejisi uygulamışlardır. Büyük ve karmaşık bir trafik ağı için zor olan gerçek zamanlı trafik sinyali kontrolünde, yeşil sürenin uzatılıp uzatılmayacağına gelişmiş akıllı sistemler ile karar vermişlerdir. Ma ve Nakamura [9] devre süresinin belirlenmesinde gecikme yerine emisyonun minimize edilmesine dayanan bir model geliştirmişlerdir. Dai ve diğerleri [10] istatistiki verileri ve farklı trafik durumları göz önünde bulundurarak ortalama saatlik trafik hacmine dayalı olarak kavşağın devre süresini hesaplamışlardır. Al-Kubaisi [11] bir regresyon modeli ile gecikmeyi minimum, devre süresini ise optimum yapmayı amaçlayan bir model önermiş ve önerdiği modeli doğrulamak amacıyla OSCADY/3 yazılımını kullanmıştır. Dell'Orco ve diğerleri [12,13] yaptıkları çalışmalarda harmoni arama ve yapay arı kolonisi algoritmalarını sinyal sürelerinin optimize edilmesine uygulamışlardır. Murat ve Çakıcı [14] yaptıkları çalışmada değişik trafik durumları için farklı yapay zekâ teknikleri kullanarak gecikme ve optimum devre süreleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Zakariya ve Rabia [15] optimum devre süresi uzunluğunu tahmin eden iki regresyon modeli önermişlerdir. Önerilen modelleri geliştirmek için Kanada Kapasite Rehberi'nde ve Otoyol Kapasitesi Kılavuzunda (HCM) yer alan zamana bağlı gecikme modellerinden faydalanarak bir arama algoritması kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, önerdikleri modellerin Webster bağıntısına göre daha başarılı olduğunu ifade etmişlerdir. Jovanovic ve diğerleri [16] arı kolonisi optimizasyon yöntemini kullanarak seyahat süresini en aza indirip devre süresinin optimum olmasını amaçlamışlardır. Arı kolonisi algoritması ile elde ettikleri sonuçları benzetimli Tavlama yöntemiyle karşılaştırmışlardır ve arı kolonisi algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiğini ispatlamışlardır.

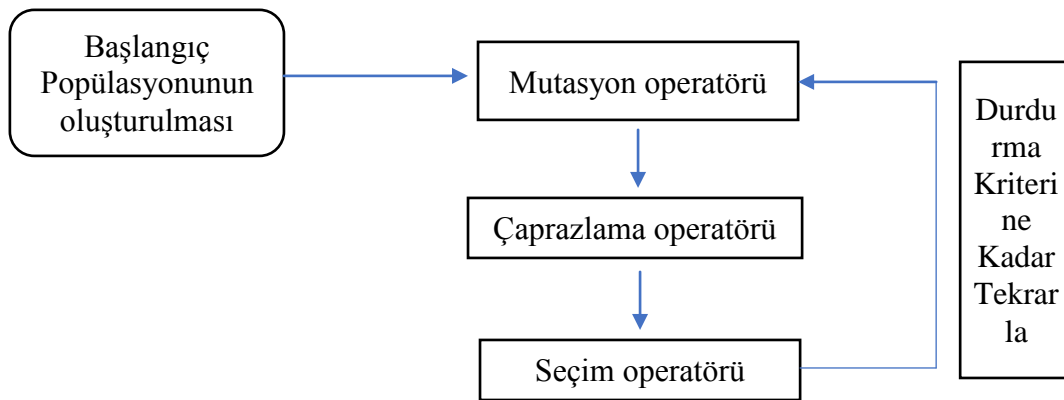
Bu çalışma kapsamında farklı trafik durumlarına cevap verebilecek optimum devre süresinin belirlenmesinin amaçlanmıştır. Bu bağlamda geleneksel regresyon yöntemi yerine meta-sezgisel yaklaşımlar kullanılarak gecikmeyi minimum yapan devre süresi modelleri geliştirilmiştir. Kullanılan yaklaşımlar bir sonraki bölümde detaylı olarak verilmiş olup geliştirilen model formları 3. bölümde verilmiştir. Modellerin performansları bulgular ve tartışmanın yer aldığı 4. bölümde incelenmiş ve son bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. Metodoloji

Bu çalışmada minimum gecikmeyi amaç fonksiyonu olarak kullanan bir yapay zekâ algoritması ile her bir trafik durumuna karşılık gelen devre sürelerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılmış olup elde edilen optimum devre sürelerini kullanarak farklı formlarda tahmin modelleri geliştirilmiştir. Farklı tahmin modellerinin geliştirilmesinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAKA) kullanılmış olup kullanılan bu iki algoritmanın adımları aşağıda açıklanmıştır.

2.1 Diferansiyel Gelişim Algoritması

DGA popülasyon temelli, gerçek değerlere dayalı olan, sezgisel optimizasyon yöntemlerinden biridir. Storn ve Price [17] tarafından 1995 yılında ortaya konulmuştur. Algoritmanın asıl ulaşmak istediği hedef, tanımlı ve gerçek değerli olan parametrelerin optimum değerlerini bulabilmektir. Bu algoritma, birden fazla boyuta ve yerel olarak minimum noktalarına sahip problemlerde etkin çözümler üretebilmektedir. Bir diğer popülasyon tabanlı yaklaşım olan Genetik Algoritmaya (GA) benzer çalışma mantığı bulunan DGA 4 temel operatörde işlem adımlarını gerçekleştirmektedir. Bunlar, başlangıç popülasyonunun üretilmesi, mutasyon işleminin gerçekleştirilmesi, çaprazlama ve en uygun çözümün seçilmesidir. DGA'yı GA'dan ayıran en önemli özellik mutasyon operatöründe gerçekleşmektedir. Rastgele seçilen iki vektörün farkına göre mutasyon işleminin uygulanıyor olması hem algoritmanın performansını arttırmakta hem de yerel minimum noktalarına takılmasını engellemektedir. Ayrıca operatörlerin bütün popülasyona uygulanmayıp, rastgele seçilmiş fark vektörlerine göre uygulanması algoritmanın hızını arttırmakta ve üç tane kontrol parametresi ile kontrol edilebilmesi ve de daha az satırla kodlanabilmesi algoritmanın üstün yanlarını ortaya çıkartmaktadır. Algoritmanın işlem adımları ise Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. DGA Temel Adımları

2.2 Yapay Arı Kolonisi Algoritması

YAKA arıların davranışları gözlemlenerek 2005 yılında Karaboğa tarafından geliştirilen bir algoritmadır [18]. Karaboğa'nın bu algoritmanın geliştirilmesi aşamasında yapmış olduğu genellemeler ve kabuller aşağıdaki verilmiştir:

- Her bir görevli arı yalnızca bir kaynaktan nektar alabilir. Böylelikle toplam kaynağın adedi, toplam görevli arı sayısına eşit kabul edilir.
- İşçi arılar sayıca gözcü olan arılara eşittir.
- Kaynakta nektar bittiği zaman, o kaynakla ilgilenen arı kâşif arıya dönüşür.

Algoritma çalışma prensibi arıların doğadaki davranışından esinlenmiş olup aşağıda belirtildiği gibidir:

- Yiyeceğin aranması aşamasında kâşif arılar araştırmak için kovandan ayrılırlar.
- Kâşif arılar uygun nektarı bulduklarında kâşif arılıktan çıkıp işçi arı olurlar ve nektarları toplamaya başlarlar. Bu topladıkları nektarları kovana getirirler.
- Görevli arıları tekrar kaynağa dönerek nektar taşımaya devam edebilecekleri gibi kovanın dans bölümünde gözcü arılara kaynak bilgisi iletmek amacıyla dans ederler. Gözcü arılara iletilen bu bilgi aracılığı ile kaynağa yönelen arılar çözüm noktası için bir yakınsama durumu oluştururlar.
- Kaynakta bulunan nektar bittiği zaman işçi arıları kâşif arıya dönüşür ve tekrar kaynak aramaya devam eder. Bu durum optimum noktaya kadar devam eder.

Algoritmanın temel adımları aşağıdaki şekilde özetlenmektedir:

- 1) Başlangıç yiyecek kaynak bölgelerinin üretilmesi
- 2) İşçi arıların yiyecek kaynağı olan bölgeye gönderilmesi
- 3) Seçilim için olasılık değerlerinin görevli arıların verdiği bilgiye göre bulunması
- 4) Gözcü arıların bulunan olasılık verilerine göre yiyecek kaynağı bölgesi seçmeleri
- 5) Kaynağı bırakma kriteri: limit ve kâşif arı üretimi

Maksimum iterasyon sayısına kadar 2 ile 5. adımlar arasındaki işlemler sürdürülür. Başlangıç kaynağının oluşturulması önemli bir adımdır ve algoritmanın düzgün bir şekilde çalışmasında etkilidir. Başlangıç kaynak oluşturma adımı rastgele olarak gerçekleşir. Başlangıç yiyecek kaynak bölgesi parametrelerin alt-üst sınır aralığında rastgele çözüm noktalardan meydana gelir. Kaynak oluşturmanın matematiksel ifadesi Denklem 1’de verilmiştir.

$${}^0x_j = \min x_j + rand(0,1)(\max x_j - \min x_j) \quad (1)$$

Verilen denklemde 0x_j üretilen kaynağı ifade ederken $i = 1, \dots, SN$ ve $j = 1, \dots, D$ arasında değişir. SN algoritmanın belirlenen kaynak sayısını ve D değişken sayısını ifade etmektedir. $\max x_j$ ve $\min x_j$ parametrelerin alt ve üst sınırlarını ifade etmektedir.

Rastgele oluşturulan ilk kaynaklara gönderilen arılar mevcut kaynağın etrafındaki yeni kaynakları araştırırlar. Komşulukta araştırılan yeni kaynakların parametre sınır değerlerinin maksimum ve minimum değerleri arasında olması için kısıtlar mevcuttur. Böylece komşulukta bulunan yeni çözüm noktaları sınırları ihlal ettiğinde bu aralığa tekrar ötelenebilmektedir. Arılar komşuluktaki kaynakların uygunluk fonksiyonuna göre kalitesi değerlendirir ve mevcut kaynaktan daha iyi ise bunu hafızasına alır. Komşuluk kaynak araştırmasının matematiksel ifadesi Denklem 2’de, uygunluk fonksiyonunun ifadesi ise Denklem 3’de gösterilmiştir.

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (2)$$

Burada x_{ij} mevcut yiyecek kaynağı, v_{ij} mevcut kaynağın komşuluğunda aranan yeni kaynak olup $\phi_{ij} [-1 \ 1]$ arasında rastgele değişen bir sayıdır. $i = 1, \dots, SN$ ve $j = 1, \dots, D$ arasında değişir. x_{kj} rastgele seçilen komşu çözümünü ifade etmektedir.

$$fitness_i = \begin{cases} 1/(1 + f_i) & , f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & , f_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Buradaki f_i değeri komşuluk kaynağı olan v_{ij} ’in maliyet değeridir.

Mevcut kaynak ile bulunan yeni kaynak arasındaki seçimde kaynakların uygunluk değerine göre açgözlü seçim işlemi yapılarak gerçekleştirilir. Eğer bulunan yeni kaynak mevcut kaynaktan daha fazla nektara sahipse bu kaynak eskisinin yerine hafızaya alınır. Aksi durum olduğunda mevcut kaynak kullanılmaya devam eder. İşçi arılar mevcut kaynağı kullanarak topladıkları nektarları kovana getirdikten sonra, kaynak bilgisini diğer gözcü arılarla aktarmaktadırlar. Gözcü arıların

yöneleceği kaynak ise en yüksek uygunluk değerine sahip olan yani nektar miktarı en fazla olan kaynak olacaktır. En yüksek uygunluk değerine sahip kaynağın seçilmesinde YAKA rulet tekerleğine göre seçim yapıp, tekerlek içerisindeki her bir bölgenin paylaşımı uygunluk değeriyle orantılıdır. Diğer bir deyişle, her bir kaynağın uygunluk değerinin diğer kaynakların toplam uygunluk değerine göre oranına bakılarak seçilme olasılığı belirlenmektedir.

3. Modellerin Geliştirilmesi

Her bir trafik durumu için en düşük gecikmeyi verecek devre sürelerinin araştırılmasıyla model geliştirmede kullanılacak veriler elde edilebilmiştir. Bu aşama da Karayolları Kapasite Kılavuzu (HCM) [19] gecikme modelini amaç fonksiyonu olarak kullanan DGA yaklaşımı ile arama algoritması geliştirilmiştir. Kullanılan gecikme modelinin ifadesi Denklem 4’de verilmiştir.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (4)$$

Burada,

- d = Taşıt başına ortalama gecikme,
- d_1 = Üniform gecikme,
- d_2 = Aşırı akım gecikme,
- d_3 = Başlangıç kuyruk gecikmesi,
- PF = İlerleme faktörü

Denklem 5’de verilen gecikme ifadesindeki d_1 üniform gecikmesi, araçların kavşağa sabit aralıklarla geldiğinde trafik ışıklarına bağlı olarak oluşan gecikme değeridir. Bir diğer gecikme olan Denklem 6’de verilen d_2 gecikmesi kavşağa araçların rastgele gelişleri ve kuyruk oluşumundan dolayı meydana gelen gecikmedir. Başlangıç kuyruk gecikmesi d_3 analiz başlamadan önce kavşakta bulunan kuyruğun taşıtlar üzerinde oluşturduğu gecikmeyi ifade etmektedir. Analiz başlangıcında kuyruk oluşumu yok ise bu değer 0 olarak alınır.

$$d_1 = 0.5 \frac{c(1-\lambda)^2}{1-[\min(1,x)\lambda]} \quad (5)$$

$$d_2 = 900T[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8kIx}{cT}}] \quad (6)$$

Burada,

- d_1 = Üniform gecikme (sn/araç),
- C = Devre süresi (sn),
- x = Doygunluk derecesi,
- λ = Yeşil süre oranı
- d_2 = Aşırı akım gecikme,
- T = Analiz periyodu (Saat),
- c = Kapasite (araç/saat),
- k = Gecikme parametresi,
- I = Ölçüm düzeltme faktörü

Geliştirilen optimum devre süresi modellerinde Denklem 7’de verilen Webster optimum devre süresi bağıntısının kalibre edilmiş formu, üstel ve kuadratik formlar olmak üzere bağıntıları Denklem 8-10’da verilen 3 farklı model önerilmiştir.

$$C = \frac{1.5L+5}{1-\sum y} \quad (7)$$

Burada,

C: Optimum devre süresi (sn),

L: Toplam kayıp süre

y: Her fazdaki akımlar oranı

$$C = \frac{aL+b}{1-c\sum y} \quad (8)$$

$$C = aLe^{bY} + c \quad (9)$$

$$C = aL^2 + bY^2 + cLY + d \quad (10)$$

Burada a, b, c ve d model katsayılarıdır.

Kayıp zamanların 1'er artışla 4 sn ile 10 sn arasında ve trafik hacimlerinin ise 180 araç/saat ile 1440 araç/saat arasında olacak şekilde 266 adet farklı trafik durumu göz önüne alınmıştır. Ele alınan bu trafik durumlarına göre YAKA yaklaşımıyla önerilen model formları optimize edilmiş ve model katsayıları belirlenmiştir. Kullanılan bu yaklaşımın kontrol parametre değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Yapay arı koloni algoritması kontrol parametreleri

Kolonideki işçi ve gözcü arı sayısı (Np)	50
Yiyecek kayağı sayısı	Np/2
Terkedilmiş kaynak sayısı limiti	100
Maksimum iterasyon sayısı	1000

Model katsayılarının belirlenmesinde amaç fonksiyonu ortalama mutlak yüzdesel hataların (OMYH) minimize edilmesi olarak belirlenmiştir. Buna göre, DGA yaklaşımıyla her bir trafik durumu için minimum gecikmeyi veren devre süresi, referans alınan devre süresi olup YAKA yaklaşımı kullanılarak tahmin edilen optimum devre süreleri arasındaki yüzdesel fark amaç fonksiyonunun değerini vermektedir. Amaç fonksiyonun matematiksel ifadesi Denklem 11'de verilmiştir.

$$F(x) = \sum |(Copt_{DGA} - Copt_{YAKA})/Copt_{DGA}| * 100 \quad (11)$$

Geliştirilen model formlarının YAKA yaklaşımı ile optimize edilmesi sonucu belirlenen her modele ait katsayı değerleri Tablo 2 ile belirtilmiştir.

Tablo 2. Model Katsayıları

Katsayılar	Model 1	Model 2	Model 3
a	1,78	0,33	0,18
b	6,69	3,81	68,08
c	0,87	17,78	2,06
d			1,46

4. Analiz ve Bulgular

Geliştirilen modellerden elde edilen optimum devre sürelerinin istatistiksel sonuçları kullanılarak modellerin performansları ortaya konulmuştur. Ortalama Karesel Hatalarının Karekökü (OKHK), Ortalama Mutlak Yüzdese Hatalar (OMYH) ve belirleme katsayısı (R^2) performans kriterleri olarak seçilmiştir. OKHK, OMYH ve R^2 'nin matematiksel ifadeleri denklem 12-14 ile verilmiştir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{n=1}^m (C_{arama algoritması} - C_{YAKAtahmin})^2} \quad (12)$$

$$OMYH = \frac{1}{m} \left| \sum_{n=1}^m ((C_{arama algoritması} - C_{YAKAtahmin}) / C_{arama algoritması}) \right| * 100 \quad (13)$$

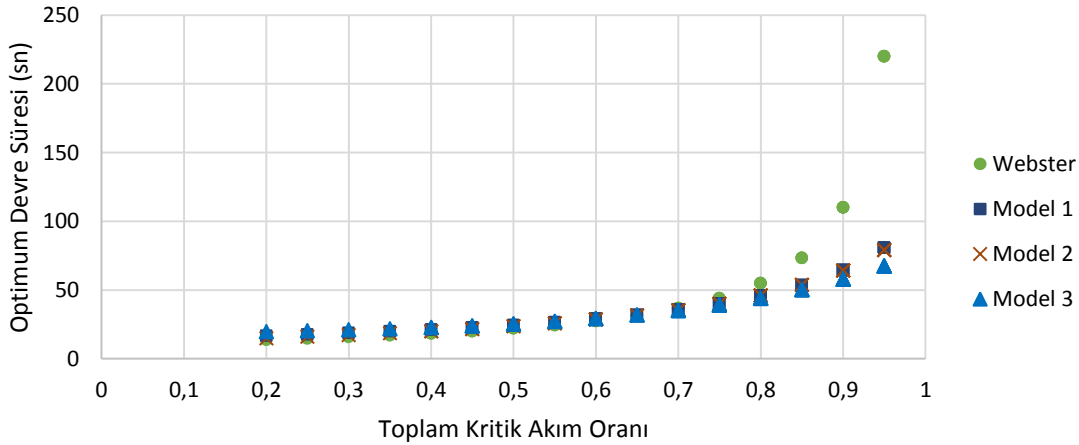
$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_1^m (C_{arama algoritması} - P_{YAKAtahmin})^2}{\sum_1^m (P_{arama algoritması} - P_{ortalama})^2} \right] \quad (14)$$

Geliştirilen 3 farklı model formuna ait optimum devre süreleri tahminine göre elde edilen OKHK, OMYH ve R^2 istatistiki değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

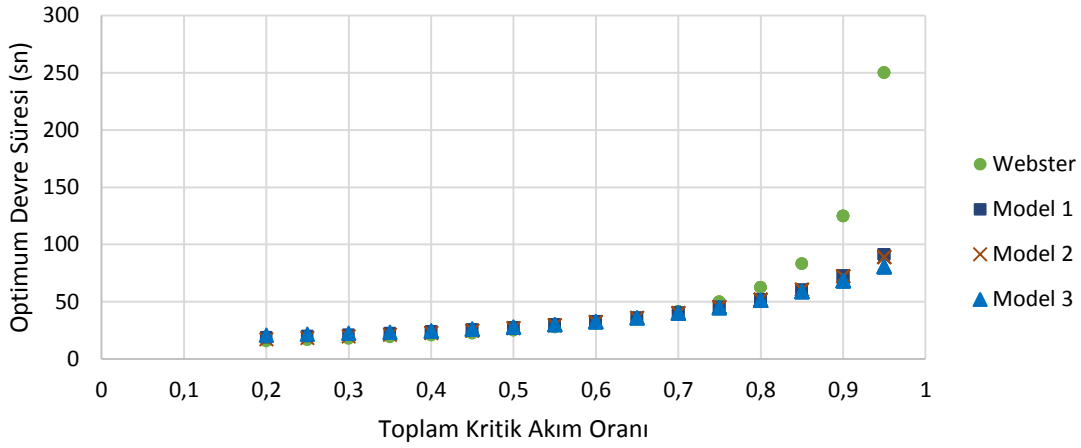
Tablo 3. İstatistiki bulgular

	Webster	Model 1	Model 2	Model 3
OKHK	4,35	0,61	0,59	0,86
OMYH	37,48	9,73	9,01	14,71
R^2	0,701	0,904	0,914	0,866

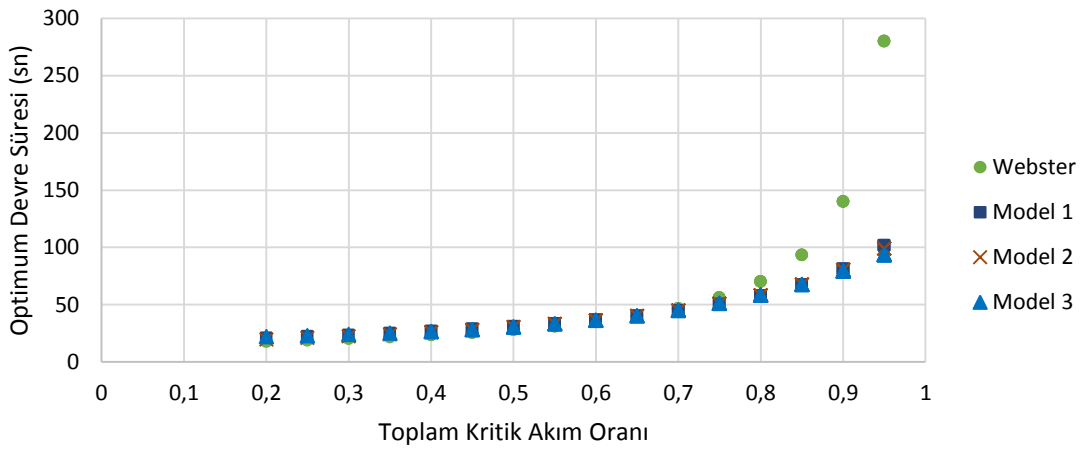
Kayıp zamanlara ait optimum devre süresinin toplam kritik akım oranına bağlı olarak değişimi Şekil 2-8'de verilmektedir.



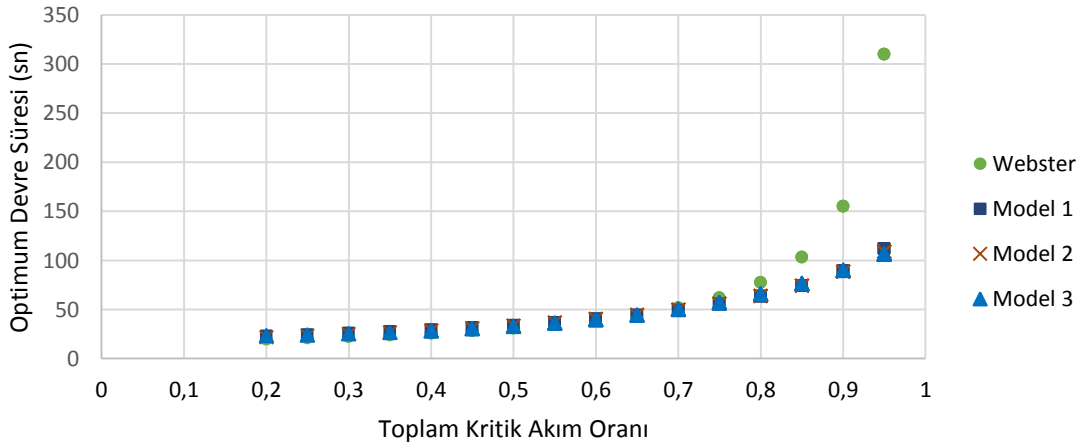
Şekil 2. Kayıp zaman 4 sn için optimum devre süresi değişimi



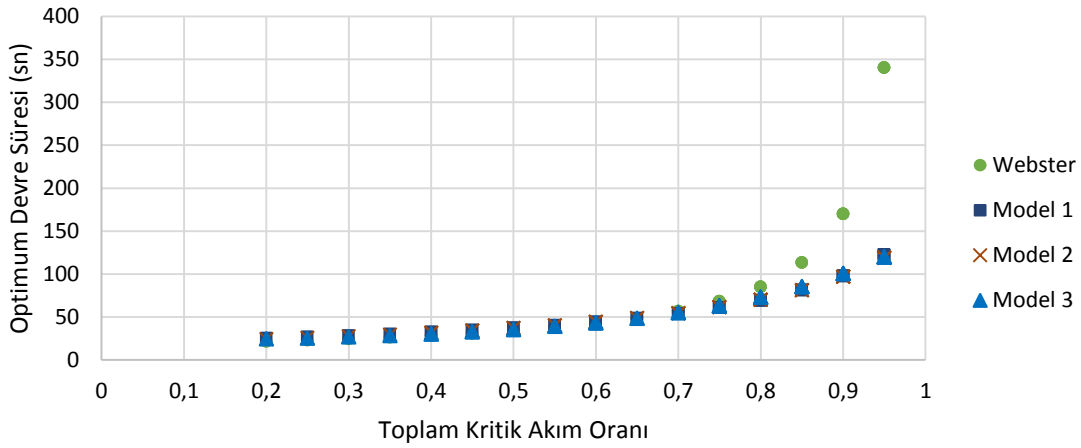
Şekil 3. Kayıp zaman 5 sn için optimum devre süresi değişimi



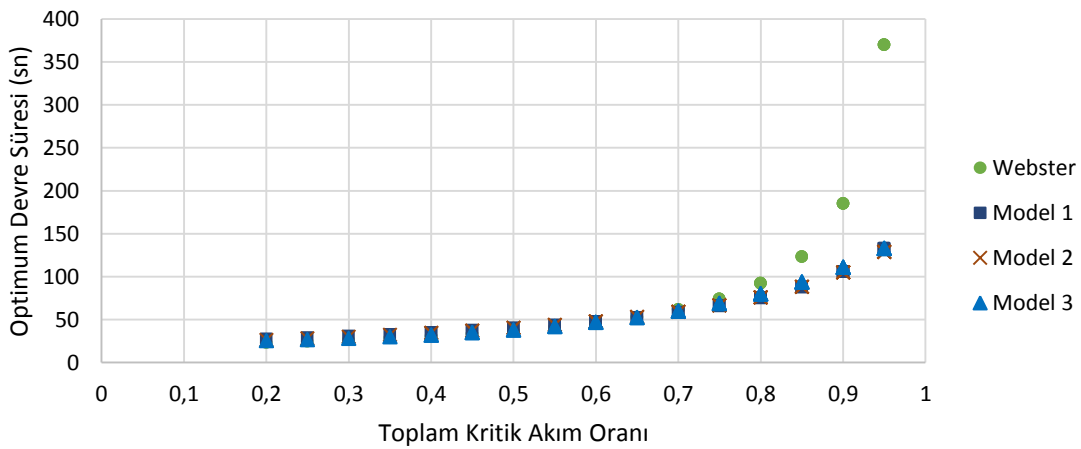
Şekil 4. Kayıp zaman 6 sn için optimum devre süresi değişimi



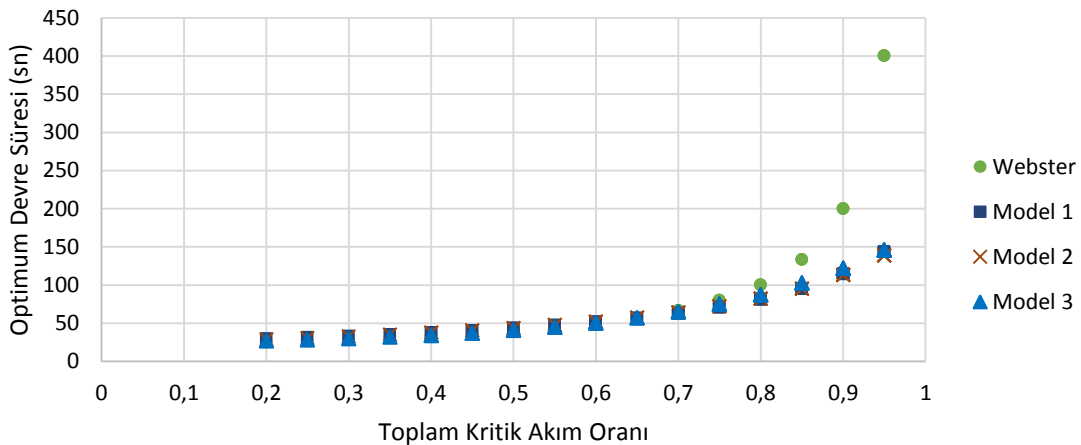
Şekil 5. Kayıp zaman 7 sn için optimum devre süresi değişimi



Şekil 6. Kayıp zaman 8 sn için optimum devre süresi değişimi



Şekil 7. Kayıp zaman 9 sn için optimum devre süresi değişimi



Şekil 8. Kayıp zaman 10 sn için optimum devre süresi değişimi

OKHK ve OMYH değerleri incelendiğinde Model 2'nin en düşük hata değerleri ile en yüksek performansa sahip olduğu görülmektedir. Geliştirilen modeller içerisinde en düşük performansa Model 3 sahip olmasına rağmen Websterin optimum devre süresi modelinden daha başarılı istatistikî performans göstermiştir. Ayrıca Şekil 2-8 üzerinden de anlaşıldığı üzere Webster modeli özellikle kritik akım oranı 0,8'in üzerinde olduğu trafik durumlarda büyük devre süreleri

önermektedir ki bu da gecikmenin artmasına, kapasitenin düşmesine ve kavşak performansının yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Modellere ait belirleme katsayıları (R^2) karşılaştırıldığında Model 2 en yüksek değeri vermiş olup Webster modeli en düşük değere sahip olmuştur. Minimum gecikmeyi verecek şekilde belirlenen devre süreleri göstermiştir ki düşük trafik hacimlerinde Webster modelinin performansı geliştirilen modellerle tutarlılık gösterirken, trafik hacminin artması durumlarında Webster modeli etkinliğini yitirmektedir. Ayrıca Webster modelinin kalibre edilmiş formu da yüksek trafik hacimlerinde Webster modelinden daha iyi sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu durum göstermiştir ki Webster modelinde önerilen 1,5 ve 5 değerleri bütün trafik durumlarında etkili olamamakta ve trafik hacmindeki farklılıklara göre optimize edilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

YAKA yaklaşımı kullanılarak geliştirilen ve en düşük gecikmeyi amaçlayan üç farklı formdaki optimum devre süresi modelleri gerek istatistiki verilerle gerekse grafik gösterimlerle Webster modeline alternatif olabileceğini ve herhangi bir trafik durumuna ait devre süresinin daha optimum olarak belirlenebileceğini ortaya koymuştur. Özellikle yoğun trafik hacimlerinde Webster modelinin uzun devre süreleri önerdiği göz önüne alındığında kalibre edilmiş modelle kavşağın kapasitesinin artırılması ve gecikme değerinin düşürülmesi mümkün olacaktır. Ayrıca üstel formda geliştirilen model kalibre edilmiş Webster modelinden daha iyi performans ortaya koymuş olup literatürde optimum devre süresi için kullanılacak alternatif bir model olabileceğini göstermiştir. Devre süresinin belirlenmesinde etkili olan kayıp zaman parametresinin artması aynı trafik durumları için devre sürelerinin artışına da neden olmaktadır. Bu nedenle herhangi bir trafik durumundaki optimum devre süresinin belirlenmesinde kayıp zamanın doğru bir şekilde belirlenmesi kavşağın performansı açısından önem arz etmektedir. Aynı zamanda bu çalışma, meta sezgisel yaklaşımların trafik mühendisliği problemlerinin çözümünde alternatif yöntemler olarak uygulanabileceğini ortaya koymuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Birimi tarafından (2018/018) nolu BAP projesi ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Webster F. V., “Traffic signal settings”, Road Research Technical Paper no. 39. Road Research Laboratory, 1958.
- [2] Chang T. H., Lin, J. T., “Optimal signal timing for an oversaturated intersection”, Transportation Research Part B: Methodological, 2000, 34(6): 471-491.
- [3] Cheng D., Messer C. J., Tian Z. Z., Liu, J., “Modification of Webster’s minimum delay cycle length equation based on HCM 2000”, The 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, 2003.
- [4] Lan C. J., “New optimal cycle length formulation for pretimed signals at isolated intersections”, Journal of Transportation Engineering, 2004, 130(5): 637-647.
- [5] Cheng D., Tian Z. Z., Messer C. J., “Development of an improved cycle length model over the highway capacity manual 2000 quick estimation method”, Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(12): 890-897.
- [6] Han L., Li J. M., “Short or long—Which is better?: Probabilistic approach to cycle length optimization”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007, 2035: 150-157.

- [7] Day C., Bullock D., Sturdevant J., “Cycle-length performance measures: revisiting and extending fundamentals”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2009, 2128: 48-57.
- [8] Singh L., Tripathi S., Arora H., “Time optimization for traffic signal control using genetic algorithm”, *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 2009, 2(2): 4-6.
- [9] Ma D., Nakamura H., “Cycle length optimization at isolated signalized intersections from the viewpoint of emission”, *Seventh International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTTS)*, Kunming, China, 275-284, 2010.
- [10] Dai L. L., Sun Z. L., Liu D. B., Li Y., “An improved method of traffic control period division for intersection based on signal cycle calculation”, *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 253-255: 1731-1735.
- [11] Al-Kubaisi, M. I., “Optimum cycle time prediction for signalized intersections at Baghdad city”, *Cankaya University Journal of Science and Engineering*, 2012, 9(2): 149-166.
- [12] Dell'Orco M., Baskan O., Marinelli M., “A harmony search algorithm approach for optimizing traffic signal timings”, *PROMET-Traffic&Transportation*, 2013, 25(4): 349-358.
- [13] Dell'Orco M., Başkan Ö., Marinelli M., “Artificial bee colony-based algorithm for optimising traffic signal timings”, *Soft Computing in Industrial Applications*, Springer, Cham, 2014.
- [14] Murat Y. Ş., Çakıcı Z., “Sezgisel optimizasyon algoritmalarının taşıt gecikmesi problemi üzerine uygulaması”, *7. Altyapı Sempozyumu*, Trabzon, 615-625, 2015
- [15] Zakariya A. Y., Rabia S. I., “Estimating the minimum delay optimal cycle length based on a time-dependent delay formula”, *Alexandria Engineering Journal*, 2016, 55(3): 2509-2514.
- [16] Jovanović A., Nikolić M., Teodorović D., “Area-wide urban traffic control: A Bee Colony Optimization approach”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, 77: 329-350.
- [17] Storn R., Price K., “Differential evolution – A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces”, *Technical Report TR-95-012*, ICSI, 1995
- [18] Karaboğa D., “Yapay zeka optimizasyon algoritmaları”, Nobel, İstanbul, 2014.
- [19] *Transportation Research Board*, “Highway Capacity Manual 2000”, National Research Council, Washington, DC, 2000.